

УДК 681.511.22, 535.66

Схемотехнические и программные решения для управления мультиспектральными осветителями

Тимофеев А. Н. *, Ведрук Д. В., Арапова С. П., Арапов С. Ю., Тюменев А. Н.

*Уральский федеральный университет,
Мира, 32, R041, Екатеринбург, Россия, 620002*

Аннотация. Предложено унифицированное комплексное решение для управления компонентами в мультиспектральных источниках освещения. В работе приведены принципиальные электронные схемы, осуществляющие регулировку яркости компонентов с помощью ШИМ, либо изменением рабочего тока. Линейность изменения яркости обеспечивается программным обеспечением.

Ключевые слова: СИД, источник света, ШИМ.

Hardware and software solutions for the control of multispectral illuminators

Timofeev A. N. *, Vedruk D. V., Arapova S. P., Arapov S. Yu., Tumenev A. N.

Ural Federal University, Mira, 32, R041, Ekaterinburg, Russia, 620002

Abstract. Unified integrated solution for managing components in multispectral light sources represent. Described the fundamental electronic circuits, components performing brightness adjustment using PWM, or change the operating current. Dimming linearity provided by the software.

Keywords: LED, light source, PWM.

Введение

Для того чтобы изменять спектр источника освещения, состоящего из светоизлучающих диодов (СИД), требуется управлять яркостью его компонентов.

Подбор составляющих источника света (ИС) и их коэффициентов яркостей как элемент математической модели был описан в [1, 2]. В статье [3] управление осуществлялось при помощи ШИМ-сигнала отдельно для каждого СИД. Пример изменения яркости СИД за счёт рабочих токов описан в [4].

Однако в перечисленных работах отсутствует описание подходов к конкретным инженерным задачам, таким, как схемотехническое конструирование ИС, соответствие моделей управления получаемым результатам и т. д.

Таким образом, целью работы является разработка решений по управлению ИС, включающих электронные схемы и соответствующее им программное обеспечение.

1. Схемотехнические решения управления яркостью ИС

Ключевыми компонентами для построения электронных схем управления ИС были выбраны широко распространенные на сегодняшний день драйвера WS2811D и MB11801. Микросхема WS2811 представляет собой трехканальный контроллер/ШИМ драйвер с управлением по одному проводу. Выпускаются микросхемы в корпусах DIP-8 и SOP-8. Отличительным свойством микросхемы MB11801 является отсутствие внешних компонентов для построения схемы управления, большой выходной ток до 1200 мА, который можно регулировать, как с применением внешних переменных резисторов, так и с помощью ШИМ. Надёжность внутреннего теплового сенсора обеспечивает функцию защиты микросхемы от перегрева.

Электронная схема разделена на четыре самостоятельных блока, что позволяет оперативно менять конфигурацию при сборке и модернизации устройства, под конкретно заданную задачу. Первый и второй блок могут работать, как самостоятельно, так и в паре. Спаренный блок имеет несколько преимуществ: не требуется инвертировать сигнал; драйвер MB11801 с легкостью выдерживает мощные нагрузки, а также позволяет регулировать яркость переменным резистором, что дает возможность управлять СИД без контроллера (ШИМ-сигнала). В тоже время WS2811 может осуществлять передачу сигнала от блока к блоку на расстоянии до 20 метров. Протокол последовательной передачи данных описан в документации на микросхему WS2811.

Управление яркостью ШИМ-сигналом осуществляется по схеме, представленной в блоке 1 (Б1) на рис. 1. Через управляющий компьютер и микроконтроллер (МК) ATmega328P на вход первой в цепочке микросхемы WS2811 подаётся сигнал из прямоугольных импульсов частотой 400 или 800 КГц. Импульсы, в зависимости от скважности, кодируют 0 или 1 для одного бита информации. Длинный (50 мс) низкий уровень означает RESET или старт новой последовательности. Первая микросхема считывает 24 бита, в которых закодирован RGB сигнал трех каналов. Остальные импульсы драйвер пропускает на выходную шину. Следую-

щие 24 бита достаются второй микросхеме и т. д. Всего каскадом может объединяться 1024 микросхем, информация в которых может обновляться 30 раз в секунду.

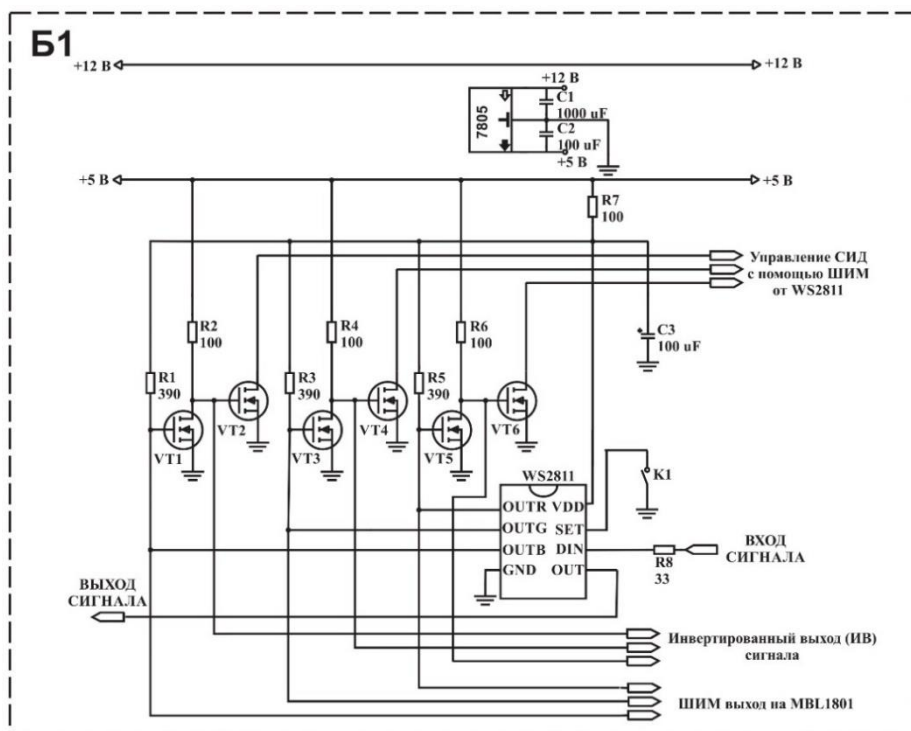
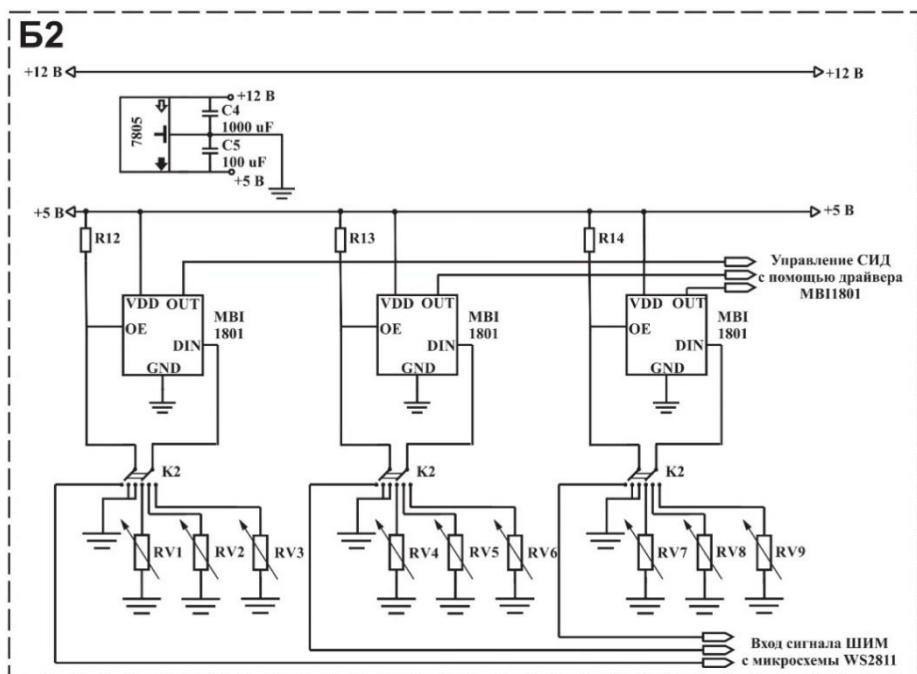


Рис. 1. Блок 1 управления электронной схемой на базе микросхемы WS2811

Разработанная ранее схема на полевом транзисторе IRML2502 и трехканального СИД драйвера WS2811 схемы описанной в статье [5] была нами доработана. С учетом всех недостатков, каждый канал с выходным сигналом был дополнен вторым транзистором IRML2502, что позволило инвертировать выходящий сигнал. Также схема дополнена стабилизатором 7805. Данный стабилизатор может выдавать одно из напряжений диапазона 4,75–5,25 В, при этом должны соблюдаться условия, что ток на нагрузке не будет превышать 1 А. При незначительных колебаниях входного напряжения с блока питания, при выходе с вывода стабилизатора всегда будет 5 В, что позволит нам без труда подключить Б1 при использовании блока питания с одной линией выходного напряжения 12 В, избегая дополнительных затрат.

При управлении яркостью СИД с помощью драйвера MBL1801 (блок 2 (Б2), рис. 2) сигнал ШИМ подаётся на вход ОЕ микросхемы. Так как данный драйвер одноканальный и его нельзя соединять в цепочки, как в случае WS2811, то количество подключения драйверов ограничивается количеством ШИМ выходов МК.



Парная система имеет ряд достоинств, т. к. регулировку яркости СИД можно осуществлять, как сигналом ШИМ, так и переменным резистором, ограничивая ток в цепочке питания СИД. При этом вывод, идущий с ОЕ должен замыкаться на землю, чтобы исключить паразитные сигналы ШИМ. В схеме Б2 показано возможное включение в цепь двухполюсного пакетного переключателя на три режима работы: ШИМ-сигнал и два режима с параметрами заданными переменными резисторами. Б2 по аналогии с Б1 оснащен стабилизатором 7805 для питания микросхемы.

64

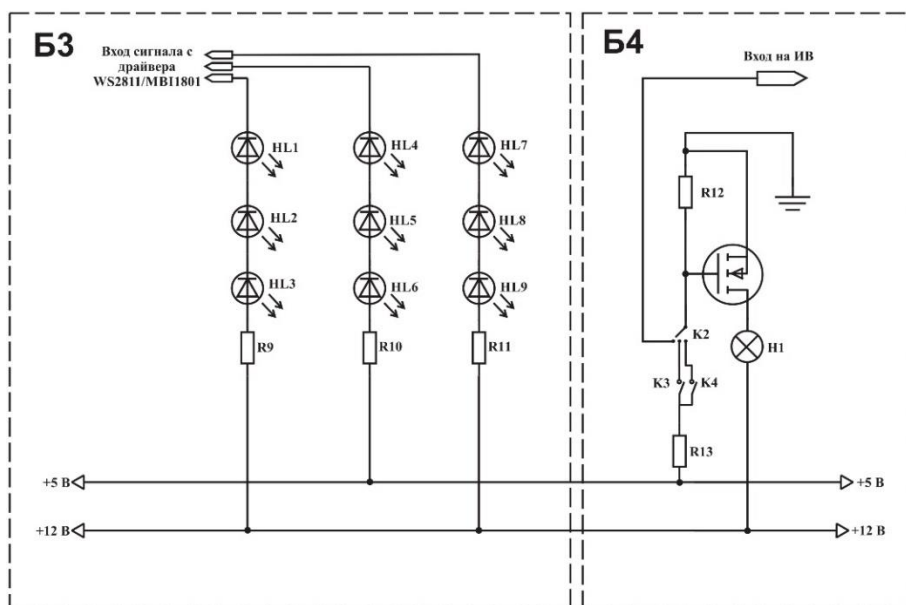


Рис. 3. Блок 3 и блок 4. Подключение светоизлучающих компонентов к электронной схеме

Следует обратить внимание, что при нулевом сопротивлении переменных резисторов, и сигналом ШИМ в 100 % через микросхемы ток идет максимальный и следует его ограничить в соответствии с параметрами светодиода, включая в цепь балластные резисторы R9-11.

Б4 подключен к пакетному переключателю для переключения между режимом ШИМ управления и постоянных режимов без использования МК. Оснащение дополнительными выключателями, позволяет отключать ГЛНИФ для проведения калибровки осветителя, работающего в постоянных режимах.

На рис. 4 показан пример возможного варианта соединения блоков в ИС.

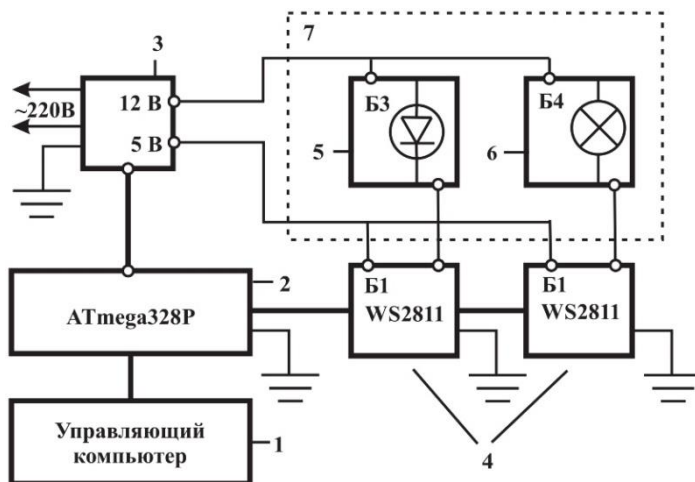


Рис. 4. Пример конструкторского решения на основе Б1: 1 — управляющий компьютер, 2 — управляющий МК, 3 — источник питания, 4 — Б1 на базе WS2811, 5 — Б3 с подключаемыми СИД, 6 — Б4 галогенная лампа DS51CB, 7 — излучающая поверхность ИС

Управление осветителем осуществляется из среды Matlab с управляющего компьютера 1. К нему подключается МК 2 через последовательный порт, по которому передаются индексы выполняемых команд и значения коэффициентов яркости. Дальнейшее соединение блоков производится по протоколу, описанному ранее.

2. Программные решения управления яркостью ИС

Для регулировки подачи питания на СИД был выбран контроллер ArduinoNano (ATmega328P). Как отмечалось в работе [1], МК обладает необходимыми характеристиками для поставленных задач, а также открытым пакетом ARDUINO IO для управления его работой через компьютер из среды Matlab. Для корректной работы ИС пакет ARDUINO IO был дополнен необходимыми процедурами. На рис. 5 показана общая схема программного управления ИС.

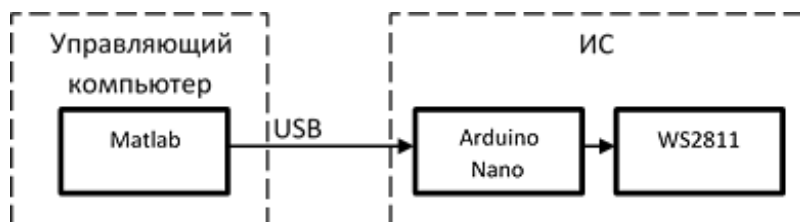


Рис. 5. Общая схема программного управления ИС

На первом этапе контроллер ArduinoNano через USB подключается к управляющему компьютеру. В МК записывается программа-монитор, транслирующая поступающие из компьютера команды, запускаемая при каждом подключении питания к МК. В начале работы программа помимо базовых операций инициализирует последовательное соединение и задает скорость передачи данных. По умолчанию устанавливается скорость передачи данных 115200 бит/с.

Далее через пользовательский интерфейс пакета ARDUINOIO среды Matlab на управляющем компьютере создается объект класса «arduinoWS» с номером выбранного порта в качестве атрибута. Затем формируется блок передаваемых данных. Необходимо задать количество используемых драйверов WS2811, значения коэффициентов яркости в диапазоне 0–255, и запустить процедуру передачи данных. При этом каждый раз указанный набор параметров дополняется индексом исполняемой процедуры, по которому она позднее идентифицируется в МК.

На следующем этапе управления через USB в МК передается сформированная ранее команда. После проверки и считывания информации уровни яркости записываются в ОЗУ МК.

Завершающий этап — передача значений яркости на драйвер WS2811. Для каждого коэффициента яркости, закодированного 1 байтом, запускается процедура передачи данных, анализирующая каждый разряд числа и выдающая на рабочий выход МК импульс напряжения 5 В длительностью 625 нс при обнаружении в нём единицы.

3. Полученные результаты

Схемотехнические и программные решения, описанные выше, успешно справляются с задачей токового регулирования и организации управляемого широкоимпульсного соединения с землёй, однако задача создания ИС — комплексная. В состав ИС кроме описанных блоков Б1–Б4 могут входить блоки питания и различные DC-DC преобразователи. При использовании компьютерного блока питания (КБП), после открывания или закрывания транзисторов в Б1, Б2, напряжение в цепи может сильно отклоняться от расчётного, за счёт реакции внутренней электронной схемы компенсации отклонений в КБП

Это особенно заметно для малых значений уровня ШИМ. На практике это приводит к отклонению зависимости между уровнем ШИМ и какой-либо из фотометрических величин от линейного вида. К таким же отклонениям могут приводить особенности излучающих компонентов источника. Типичные несовпадения теоретических и фактических значений интегральной облучённости, выявленные в эксперименте с СИД, показаны на рис. 6.

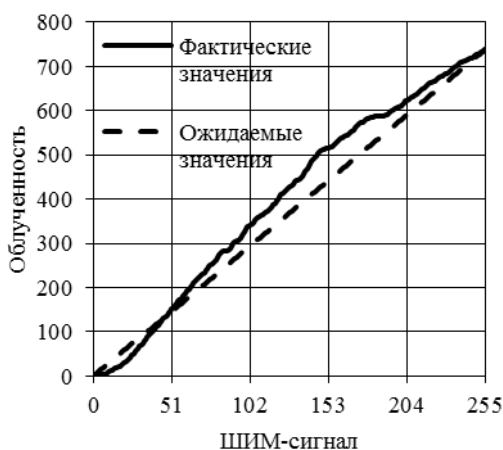


Рис. 6. Отклонение фактических значений облучённости от ожидаемых при изучении работы жёлтого СИД (590 нм)

Данные погрешности возможно устранить на программном уровне системы управления, применяя калибровочные таблицы, содержащие в себе множество значений, которыми СИД управляются, и множество значений, на которые их нужно заменить.

Для этого экспериментально находится функция $Y_\phi = f(X)$ — множество фактических значений измеряемой величины (например, облучённости, относительной мощности излучения и др.), где X — множество значений регулирующего параметра (ШИМ-сигнал, сопротивление подстроечного резистора). Сами измерения производятся либо с минимальным шагом изменения аргумента, либо с малым шагом и последующим построением интерполяции. Далее рассчитываются значения функции Y_T — множества теоретических значений измеряемой величины, таким образом, чтобы её максимальное значение совпало с соответствующим значением Y_ϕ , а сама функция была линейной:

$$Y_T = aX : Y_{T\max} = Y_{\phi\max}, a \in R^+$$

Последним этапом расчёта является получение множества X_3 — заменяющих значений регулирующего параметра. Здесь методом наименьших квадратов находим такой элемент $x \in X$, чтобы отклонение фактического значения в нем от теоретического было минимальным:

$$\forall i = \overline{1, N} : \left(\left(Y_m(x_i) - Y_\phi(x_j) \right)^2 \rightarrow \min \right) \rightarrow (x_{3i} = x_j); j \in \{1, \dots, N\}, x \in X, x_3 \in X_3$$

где N — количество элементов во множествах X или X_3 . Калибровочная таблица будет состоять из двух столбцов — значений X и X_3 .

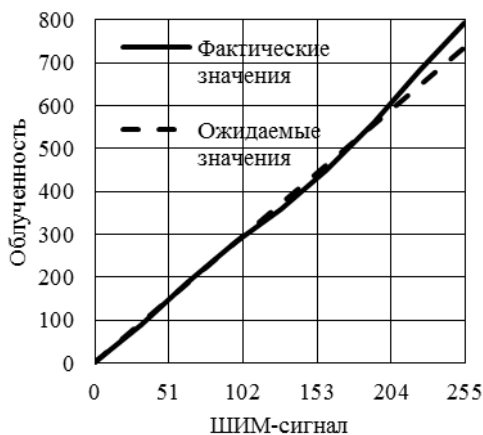


Рис. 7. Отклонение фактических значений облучённости от ожидаемых при изучении работы жёлтого СИД (590 нм) после применения калибровочной таблицы

Построение и применение калибровочных таблиц позволило существенно приблизить к линейному виду зависимость фотометрических величин от задаваемого уровня ШИМ (рис. 7). Опытным путём установлено, что такую коррекцию необходимо проводить отдельно для каждого СИД.

Выводы

Таким образом, в ходе работы удалось получить программные и схемотехнические решения по управлению ИС, включающие управление с помощью ШИМ-сигнала и рабочего тока. Они могут быть применены для создания управляемых мультиспектральных осветителей различного назначения.

Наблюдаемые неравномерности для представленных решений связаны с внешними факторами, такими, как использование характеристики блоков питания, дополнительные цепи фильтрации скачков питающего напряжения и т. д.

Список литературы

1. Арапов С. Ю., Арапова С. П., Тягунов А. Г. Гибридный лабораторный источник света для полиграфии, спектрально близкий к стандартным излучателям «D» // Светотехника. 2016. № 2. С. 24–28.
2. Метод управления мультиспектральными источниками освещения / С. П. Арапова [и др.] // Компьютерный анализ изображений: Интеллектуальные решения в промышленных сетях (CAI-2016): сборник научных трудов по материалам I Международной

конференции (УрФУ, Екатеринбург, 5–6 мая 2016 г.). Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2016. С. 25–30.

3. Гибридный источник света спектрально близкий к стандартным осветителям серии «D» / С. П. Арапова [и др.] // Компьютерный анализ изображений: Интеллектуальные решения в промышленных сетях (САИ-2016): сборник научных трудов по материалам I Международной конференции (УрФУ, Екатеринбург, 5–6 мая 2016 г.). Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2016. С. 23–24.
4. Светодиодный модуль с регулируемой цветовой температурой / М. Л. Бадгутдинов [и др.] // Светотехника. 2008. № 6. С. 15–17.
5. Арапова С. П., Арапов С. Ю., Мезенцева С. Г. Управляемый мультиспектральный светодиодный кластер для репродукционных исследований // Информация: передача, обработка, восприятие: материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 12–13 января 2016 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2016. С. 104–111.